

BEST AVAILABLE COPY

RECEIVED
18 MAR 2004

PCT/JP2004/000864

WIPO PCT

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

29. 1. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 4月22日

出願番号
Application Number: 特願2003-117340
[ST. 10/C]: [JP2003-117340]

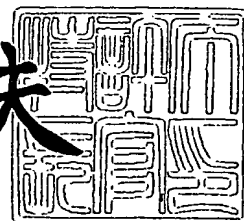
出願人
Applicant(s): JFEスチール株式会社

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 3月 5日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3016965

【書類名】 特許願

【整理番号】 2003S00305

【提出日】 平成15年 4月22日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B22D 11/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール
株式会社内

【氏名】 三木 祐司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール
株式会社内

【氏名】 竹内 秀次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール
株式会社内

【氏名】 山内 章

【特許出願人】

【識別番号】 000001258

【氏名又は名称】 J F E スチール株式会社

【代理人】

【識別番号】 100080458

【弁理士】

【氏名又は名称】 高矢 諭

【選任した代理人】

【識別番号】 100076129

【弁理士】

【氏名又は名称】 松山 圭佑

【選任した代理人】

【識別番号】 100089015

【弁理士】

【氏名又は名称】 牧野 剛博

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006943

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9803081

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 鋼の連続铸造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

連続铸造用铸型に供給される溶鋼を連続的に铸造する鋼の連続铸造方法において、

铸型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にすることを特徴とする鋼の連続铸造方法。

【請求項 2】

連続铸造用铸型に供給される溶鋼を連続的に铸造する鋼の連続铸造方法において、

铸型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、铸型内の溶鋼流速を $V \text{ (m/s)}$ 、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $F_{\max} \text{ (N/m}^3\text{)}$ とするとき、 $V \times F_{\max}$ が $3000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以上になるようにすることを特徴とする鋼の連続铸造方法。

【請求項 3】

前記铸型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、

前記連続铸造用铸型の铸型長辺方向に 3 個以上の電磁石を配置し、

隣り同士のコイルで発生する磁場を実質反転させることで、溶鋼に位相が実質反転する振動電磁界を作用させ、局所的な流動を誘起させることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 4】

前記隣り同士のコイルで発生する磁場を、隣り同士のコイルに位相が実質的に逆の交流電流を通電するか、あるいは、コイルの巻き線方向を逆にして同位相の交流電流を通電することで、実質反転させることを特徴とする請求項 3 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 5】

最大の交流磁界の磁束密度が 1000 ガウス未満であることを特徴とする、請

求項 3 又は 4 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 6】

振動磁界の周波数が 1 Hz から 8 Hz であることを特徴とする、請求項 3 又 4 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 7】

前記鑄型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、
前記連続铸造用鑄型の鑄型長辺方向に 3 個以上の電磁石を配置し、
これら電磁石により振動磁界を発生させながら該振動磁界のピーク位置を鑄型長辺方向に沿って局所的に移動させることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 8】

3 個以上の隣り合うコイルの位相が、 n 、 $2n$ 、 n あるいは n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分（但し、3 相交流で $n = 60^\circ$ 又は 120° 、2 相交流で $n = 90^\circ$ ）を持つことを特徴とする請求項 7 に記載の鋼の連続铸造設備。

【請求項 9】

前記鑄型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、
前記連続铸造用鑄型の鑄型長辺方向に 3 個以上の電磁石を配置し、
これら電磁石により移動磁界を発生させることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の鋼の連続铸造方法。

【請求項 10】

前記振動磁界又は移動磁界に、鑄型の厚み方向に静磁界を重畳することを特徴とする請求項 3 乃至 9 のいずれかに記載の鋼の連続铸造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、鋼の連続铸造方法に係り、特に、磁界印加による鑄型内溶鋼流動を改善する際に適用して好適な、鋼の連続铸造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、自動車用鋼板を中心として、鋼製品の品質向上要求が厳しくなり、スラブ段階から清浄度の優れた高品質のスラブの要求が高まっている。スラブの欠陥には、介在物や気泡に起因するものや、溶鋼中の成分の偏析に起因するものがあり、鑄型内の溶鋼流動は、これらと深い関係があるため、従来より多くの研究、発明がなされてきた。その一つとして、磁界を用いた鑄型内流動制御方法が考えられている。

【0 0 0 3】

例えば、(A) 移動磁界に直流磁界を重畳したものとして、鑄型長辺を挟み対向する上下2段の磁極を鑄型長辺背面に配置し、(1) 下側に配置した磁極に直流静磁界と交流移動磁界とが重畳された磁界とする、あるいは、(2) 上側に配置した磁極に直流静磁界と交流移動磁界とが重畳された磁界とし、下側に配置した磁極に直流静磁界を印加する鑄型内溶鋼流動の制御方法が開示されている（例えば、特許文献1 参照）。

【0 0 0 4】

又、複数個設置した電気コイルに適当なりニア駆動用交流電流と制動用直流電流を流すことにより、鑄型内溶鋼流動を制御する装置が開示されている（例えば、特許文献2 参照）。

【0 0 0 5】

又、位相が120度ずつずれた交流移動磁界と直流静磁界とを重畳する鑄型内流動制御方法が開示されている（例えば、特許文献3 参照）。

【0 0 0 6】

又、浸漬ノズル吐出孔の上方に置いた磁石により、幅方向全域に静磁界と高周波磁界を重畳して作用させると共に、吐出孔の下方に置いた磁石により、静磁界を作用させる鋼の鑄造方法が開示されている（例えば、特許文献4 参照）。

【0 0 0 7】

(B) 上部直流磁界と下部移動磁界を組合せたものとして、浸漬ノズルから吐出された溶鋼流を包囲する位置に静磁場をかけ、流速を低下させると共に、静磁場よりも下流位置に電磁攪拌装置を設置して水平方向に攪拌する電磁攪拌方法が開示されている（例えば、特許文献5 参照）。

【0008】

(C) 上部移動磁界と下部直流磁界を組合わせたものとして、湯面から吐出孔（下向き50度以上）の間に極芯中心を設置した磁石により移動磁界を作用させると共に、極芯中心を浸漬ノズルより下部に設置した磁石により静磁場を作用させる鑄造方法が開示されている（例えば、特許文献6参照）。

【0009】

又、浸漬ノズル下端よりも上部に電磁攪拌用磁石を設置し、浸漬ノズル下端よりも下部に移動磁界と静磁界が印加できる磁石を設置し、鋼種や鑄造速度に応じて静磁場と移動磁場を使い分ける鑄造方法が開示されている（例えば、特許文献7参照）。

【0010】

又、浸漬ノズル内にArガスを吹き込みながら鋼を鑄造する時に、浸漬ノズルから出た直後の溶鋼流に磁束密度が0.1テスラ以上の静磁場を作用させ、その上部で電磁攪拌装置により連続的に攪拌、あるいは、攪拌方向を周期的に変化させる方法が開示されている（例えば、特許文献8参照）。

【0011】

又、鑄型長辺側に鑄型内に供給される溶鋼電流を制御するように配された静磁場を有し、上方に移動磁界発生装置を配して、溶鋼上表面を水平断面中央から短辺側へ流動させる鑄型及び鑄型上方の構造が開示されている（例えば、特許文献9参照）。

【0012】

又、モールド上部に、溶鋼に水平流動を生じさせる電磁攪拌装置、モールド下部に、浸漬ノズルからの吐出流を減速するための電磁ブレーキを設置して、浸漬ノズルから出る吐出流を制御する技術が開示されている（例えば、特許文献10参照）。

【0013】

又、連続鑄型内の溶鋼湯面に静磁場を用い、連鑄用ノズルとしてストレートノズルを使用し、吐出口部に進行磁場を用い、その下部に静磁場を用いる鑄型内溶鋼流動制御技術が開示されている（例えば、特許文献11参照）。

【0014】

(D) 直流磁界を単独で印加するものとして、鑄型長辺側に対向して設置した、長辺とほぼ同じ長さの電磁石により静磁場を作用させる電磁ブレーキが開示されている（例えば、特許文献12参照）。

【0015】

又、鑄型幅中央ないし鑄型短辺より内側の所定位置から両端部近傍にかけて、鑄型上方側へ曲げるか傾斜させた磁極を、幅中央部で浸漬ノズル吐出孔より下部に設置し、直流磁場あるいは低周波交流磁場を作用させることによって鑄型内の溶鋼流動を制御する方法が開示されている（例えば、特許文献13参照）。

【0016】

又、鑄型全幅にわたって、ほぼ均一な磁束密度分布を有する直流磁場を、鑄型厚み方向に加えて、浸漬ノズルからの吐出流を制御することにより、メニスカス流速を0.20～0.40 m/sに制御する技術が開示されている（例えば、特許文献14参照）。

【0017】

又、鑄片幅全体に鑄型厚み方向の均一な静磁界を、浸漬ノズル吐出孔の上部、下部に作用させ、溶鋼吐出流に効果的な制動力を与え、流れを均一化する技術が開示されている（例えば、特許文献15参照）。

【0018】

(E) 直流磁界又は移動磁界を印加するものとして、浸漬ノズル吐出孔の下部に設けた複数のコイルに直流電流を流すことにより静磁界を印加したり、交流電流を流すことにより移動磁界を印加したりすることにより溶鋼流動を制御する鑄造方法が開示されている（例えば、特許文献16参照）。

【0019】

又、浸漬ノズルからの吐出流に交流移動磁場を作用させることにより、吐出溶鋼流を制動（EMLS）したり、加速（EMLA）したりする技術が開示されている（例えば、非特許文献1参照）。

【0020】

(F) 移動磁界のみを印加するものとして、電磁誘導によって鑄型内の溶鋼流

動を制御する際に、周波数 1 ～ 15 Hz の静止交流磁場を溶鋼に印加する技術が開示されている（例えば、特許文献 17 参照）。

【0021】

又、スラブ連鑄機において、電磁攪拌により鑄型壁に沿った水平方向の溶鋼旋回流を得る技術（M-EMS）が開示されている（例えば、非特許文献 2 参照）。

【0022】

しかしながら前記各特許文献や非特許文献に記載された技術では、モールドパウダーを巻き込んだり、又、凝固界面への介在物、気泡の捕捉を防止できず、鑄片の表面品質が充分に向上しないという問題があった。

【0023】

（G）振動磁界のみを印加するものとして、時間的に移動しない低周波交流静止磁界を付与し、凝固直前に低周波電磁振動を励起させることによって、凝固前面の柱状デンドライトを破断させ、溶融金属中に浮遊させて、凝固組織の微細化、中心偏析の低減を目指す方法が開示されているが、鑄片の表面欠陥を低減する効果は小さい（例えば、特許文献 18 参照）。

【0024】

【特許文献 1】

特開平 10-305353 号公報

【特許文献 2】

特許第 3067916 号明細書

【特許文献 3】

特開平 5-154623 号公報

【特許文献 4】

特開平 6-190520 号公報

【特許文献 5】

特開昭 61-193755 号公報

【特許文献 6】

特開平 6-226409 号公報

【特許文献 7】

特開平 9 - 2 6 2 6 5 1 号公報

【特許文献 8】

特開 2 0 0 0 - 2 7 1 7 1 0 号公報

【特許文献 9】

特開昭 6 1 - 1 4 0 3 5 5 号公報

【特許文献 1 0】

特開昭 6 3 - 1 1 9 9 5 9 号公報

【特許文献 1 1】

特許第 2 8 5 6 9 6 0 号明細書

【特許文献 1 2】

特開平 3 - 2 5 8 4 4 2 号公報

【特許文献 1 3】

特開平 8 - 1 9 8 4 1 号公報

【特許文献 1 4】

国際公開特許 WO 9 5 / 2 6 2 4 3 号公報

【特許文献 1 5】

特開平 2 - 2 8 4 7 5 0 号公報

【特許文献 1 6】

特開平 9 - 2 6 2 6 5 0 号公報

【特許文献 1 7】

特開平 8 - 1 9 8 4 0 号公報

【特許文献 1 8】

特許第 2 9 1 7 2 2 3 号明細書

【非特許文献 1】

「材料とプロセス」 vol. 3 (1 9 9 0) 第 2 5 6 頁

【非特許文献 2】

「鉄と鋼」 6 6 (1 9 8 0) 第 7 9 7 頁

【0 0 2 5】

【発明が解決しようとする課題】

近年の表面品質ニーズの高まり、コストダウン等の要求から、更なる鋳片表面や内部の品質改善技術が望まれており、より効果的な鋳型内流動の制御が必要となっている。

【0026】

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、モールドフラックスの巻き込みを抑制し、鋳片の内部品質を向上させると共に、介在物、気泡の凝固核への捕捉を抑制して、鋳片の表面品質を向上できる、鋼の連続鋳造方法を提供することを目的とする。

【0027】**【発明を解決するための手段】**

本発明は、連続鋳造用鋳型に供給される溶鋼を連続的に鋳造する鋼の連続鋳造方法において、鋳型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にすることにより、前記課題を解決したものである。

【0028】

本発明は、又、連続鋳造用鋳型に供給される溶鋼を連続的に鋳造する鋼の連続鋳造方法において、鋳型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、鋳型内の溶鋼流速を $V \text{ (m/s)}$ 、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $F_{\text{max}} \text{ (N/m}^3\text{)}$ とするとき、 $V \times F_{\text{max}}$ が $3000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以上になるようにすることにより、同様に前記課題を解決したものである。

【0029】

又、前記鋳型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、前記連続鋳造用鋳型の鋳型長辺方向に3個以上の電磁石を配置し、隣り同士のコイルで発生する磁場を実質反転させることで、溶鋼に位相が実質反転する振動電磁界を作用させ、局所的な流動を誘起させるようにしたものである。

【0030】

又、前記隣り同士のコイルで発生する磁場を、隣り同士のコイルに位相が実質的に逆の交流電流を通電するか、あるいは、コイルの巻き線方向を逆にして同位

相の交流電流を通電することで、実質反転させるようにしたものである。

【0031】

又、最大の交流磁界の磁束密度を1000 Gauss未満とするか、及び／又は、振動磁界の周波数を1 Hzから8 Hzとしたものである。

【0032】

又、前記鋳型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、前記連続鋳造用鋳型の鋳型長辺方向に3個以上の電磁石を配置し、これら電磁石により振動磁界を発生させながら、該振動磁界のピーク位置を鋳型長辺方向に沿って局所的に移動させるようにしたものである。

【0033】

又、その際、3個以上の隣り合うコイルの位相が、 n 、 $2n$ 、 n あるいは n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分（但し、3相交流で $n=60^\circ$ 又は 120° 、2相交流で $n=90^\circ$ ）を持つようにしたものである。

【0034】

又、前記鋳型内の溶鋼を電磁攪拌するに当り、前記連続鋳造用鋳型の鋳型長辺方向に3個以上の電磁石を配置し、これら電磁石により移動磁界を発生させるようにしたものである。

【0035】

又、前記振動磁界又は移動磁界に、鋳型の厚み方向に静磁界を重畳するようにしたものである。

【0036】

本願第1の発明においては、連続鋳造時に鋳型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にする。

【0037】

本願第2の発明においては、連続鋳造時に、鋳型内の溶鋼流速を $V \text{ (m/s)}$ 、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $F_{\text{max}} \text{ (N/m}^3\text{)}$ とすると、 $V \times F_{\text{max}}$ が $3000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以上になるようにする。

【0038】

第1と第2のいずれの発明においても、更に、製造される鋳片の内部欠陥や表面欠陥を低減するためには、鋳型の厚み方向の流速分布を規定し、厚み中央付近では流速を小さくしてモールドフラックスの巻き込みを抑えつつ、鋳型壁面に近い凝固界面の溶鋼に局所的な流動を与えて、気泡、介在物の捕捉を防止することが有効であると考えられる。

【0039】

このための方法として、交流磁場の印加方法を工夫することが重要であり、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、以下の結論に至った。

【0040】

1. 特許文献4に示されるような、厚み方向の磁場では、交流電流の表皮効果を利用して、凝固界面あるいは溶鋼表面にローレンツ力を集中させていたが、これだけでは、効率的に凝固界面のみにローレンツ力を集中できず、凝固界面にローレンツ力を集中させるためには、磁力線分布を制御する必要がある。

【0041】

2. このための方法として、幅方向に交互に位相が反転する電磁石を配置して、交番させることが効果的である。厚み方向に磁界を振動させる場合には、電磁力を鋳型壁面、即ち、凝固界面に集中することができなくなるため、幅方向に磁界を振動させる必要がある。ここで、交互の電磁石に通電する電流の位相は実質反転する必要があり、そのためには、位相は 130° 以上異なることが必要である。

【0042】

3. このためのコイル構造としては、図1に例示する如く、幅方向に3つ以上の磁極を有する櫛歯状鉄芯22にコイルを巻き、且つ、隣り同士の電流の位相を実質反転させることで、幅方向の磁界を振動させることができる。図において、10は鋳型、12は浸漬ノズル、14は溶鋼（斜線部は低速領域）である。

【0043】

4. この際の交流電流の周波数は、低すぎると十分な流動が励起されず、高すぎると、溶鋼が電磁場に追随しなくなるので、1Hzから8Hzの範囲が適当である。

【0044】

5. このような電磁石を用いることで、凝固前面から溶湯（溶鋼）を引き離す方向の流動を誘起させることができ、且つ、励起される流速が小さいので、デンドライトを破断することなく、凝固界面の洗浄効果が得られた。図2（正面図）、図3（図2のIII-III線に沿う水平断面図）、図4（図2のIV-IV線に沿う垂直断面図）に、磁極28の数が4個の場合について、本発明の振動磁界で誘起される溶湯流動を、電磁場解析と流動解析によって計算した例をもとにして、模式的に示した。

【0045】

本発明では、図5に示す如く、次式に示すローレンツ力Fに応じて発生する流れの向きは同じで、流速vのみ印加電流Iの半分の周期で変動する。

【0046】

$$F \propto J \times B \quad \dots (1)$$

ここで、Jは誘導電流、Bは磁場である。

【0047】

6. コイルの巻き方向を逆にすれば、電流の位相が同じでも、磁場の位相を反転することができる。

【0048】

7. 特許文献18には、時間的に移動しない低周波交流静止磁界を付与し、凝固前面に低周波電磁振動を励起させることによって、凝固前面の柱状デンドライトを破断させ、溶融金属中に浮遊させて、凝固組織の微細化、中心偏析の低減を目指す方法が開示されているが、デンドライトが破断するような大きな電磁力を付与すると、溶湯上面のモールドフラックスを巻き込んで、表面品質を劣化させてしまう。よって、交流振動磁界の磁束密度は1000 Gauss未満が望ましい。なお、コイル配置によっては、1000 Gauss以上でもデンドライトが破断しないようにできる場合がある。

【0049】

8. 更に、特許文献18の方法では、デンドライトの破断が起こって、柱状晶組織から等軸晶組織に変化してしまう。極低炭素鋼などでは、柱状晶組織のみの

方が、圧延時に、集合組織として制御し易くなるため、等軸晶化することで、結晶方位を揃え難くなるという問題がある。このため、電磁力によって、凝固前面のデンドライトが破断しないことが重要である。

【0050】

以上の知見から、鑄型長辺方向に磁界を振動させることによって、鑄片の厚み、鑄造方向の流動を誘起させ、気泡や介在物を凝固界面から引き離すような流動を与えることによって、気泡や介在物の捕捉を防止することが効果的であるという結論に至った。

【0051】

本発明によって、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡、介在物の捕捉を抑制できるので、鑄片の表面品質を大幅に向上させることができる。

【0052】

更に、鑄片品質の向上を図るべく、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、前記振動磁界を鑄型内溶鋼に作用させると共に、鑄型の厚み方向に静磁界を重畳することも有効であるという知見が得られた。

【0053】

9. このためのコイル構造としては、図6に例示する如く、前記図1に例示したものに、更に直流コイル34を追加したものを挙げることができる。

【0054】

10. このように、直流コイル34を設けて、静磁界を重畳させることにより、 $F = J \times B$ （ここにF：ローレンツ力、J：誘導電流、B：磁場）の磁場B項が大きくなるために、ローレンツ力Fを増加させることができるが、更に、ローレンツ力の向きが、重畳しない場合と大きく異なり、流動も変化して、幅方向及び鑄造方向の流動が大きくなるので、凝固界面に捕捉される気泡、介在物の洗浄効果が期待できる。

【0055】

11. 又、重畳することにより、厚み中央での流速を低減でき、モールドフラックスの巻き込みも更に有効に防止できる。

【0056】

図7（正面図）、図8（図7のIII-III線に沿う水平断面図）、図9（図7のIV-IV線に沿う垂直断面図）に、磁極28の数が4個の場合について、本発明の振動磁界で誘起される、ある時点の溶湯流動を、電磁場解析と流動解析によって計算した例をもとにして、模式的に示す。又、図10（正面図）、図11（図10のVI-VI線に沿う水平断面図）、図12（図10のVII-VII線に沿う垂直断面図）に、次の時点の溶湯流動を模式的に示す。

【0057】

本発明では、図13に示す如く、次式に示すローレンツ力Fに応じて発生する流れの向きが、印加電流Iと同じ周期で反転する。

【0058】

$$F \propto J \times B_t \quad \dots (2)$$

$$B_t = B_{dc} + B_{ac} > 0 \quad \dots (3)$$

ここで、Jは誘導電流、 B_t は合計磁場、 B_{dc} は直流磁場、 B_{ac} は交流磁場である。

【0059】

この場合も、磁界を振動させるための交流電流の周波数は、前記4.項に記載したと同様に1Hzから8Hzの範囲が適当である。又、前記6.項～8.項等の記載内容も該当する。

【0060】

以上の知見から、鑄型長辺方向に磁界を振動させつつ、厚み方向に直流磁界を印加することにより、鑄型長辺方向及び鑄造方向に従来と大きく異なる流動を誘起させ、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡、介在物の捕捉を抑制し、鑄片の表面品質を大幅に向上させることができる。

【0061】

更に、交流磁場の印加態様を工夫するべく、モデル実験及びシミュレーション計算を実施した結果、以下の結論が得られた。

【0062】

12. 移動磁界によるマクロ流動は、凝固界面の気泡・介在物の捕捉を抑制するため、移動磁界の印加も有効である。

【0063】

13. 時として、位置が固定された振動磁界によっては、気泡・介在物の捕捉を十分に抑制できない部分が生じる場合がある。

【0064】

14. この場合には、振動磁界によるローレンツ力のピーク位置を移動させることが効果的である。

【0065】

15. ローレンツ力のピーク位置を移動させるには、隣り合う3つのコイル、あるいは、コイル群の位相を、真中のコイルの位相を最後とするように設定するとよい。ここで、振動磁界とは、時間と共にローレンツ力の向きが反転する磁場をいう。

【0066】

以下、上記15. 項について説明する。前記図6と構造が実質的に同一の図14に示すような、櫛歯状のコイル24の各コイル（後述する図20に示す）に振動磁界を与え、各コイル毎に位相を変化させる。図15～図18は、このような各コイル毎に付与する位相の説明図である。図中の振動磁界発生用コイル24a、24bの各コイルの横に付してある数字は、ある時刻におけるそのコイルの電流の位相角（度）を記入したものである。図15～図17は2相交流の場合図18は3相交流の場合で、図15は移動磁界、図16は前記図6の場合と同様の振動磁界、図17、図18は振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる場合の例を示した。

【0067】

図17、図18に示すように、連続鑄造用鑄型の鑄型長辺幅方向に3個以上の電磁石を並べ、隣り合う電磁石に通電する電流の位相が、一方向に増加、あるいは、減少することなく、少なくとも真中の位相が両側の位相よりも遅れるように設定することによって、磁界は単に一方向に移動するのではなく、振動しながら局所的に移動することになる。

【0068】

以上のように、3個以上の隣り合うコイルの位相が、 n 、 $2n$ 、 n あるいは n

、 $3n$ 、 $2n$ （但し、 n は2相交流で 90° 、3相交流で 60° 又は 120° ）の配列部分をもたせることによって、振動磁界のピーク位置を局所的に移動させることができる。

【0069】

ここで、単純に振動磁界を誘起させた場合には、振動磁界の振幅が大きいところと小さいところができる。このピーク位置を局所的に移動させることによって、全ての位置で、凝固界面を洗浄することが可能となる。

【0070】

なお、ここで、コイルの櫛歯数が12本の例を示したが、櫛歯数は4、6、8、10、12、16本などから選ぶことができ、又、交流は2相、3相のいずれでもよい。

【0071】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、本発明の第1実施形態を詳細に説明する。

【0072】

この第1実施形態においては、鋳型内の溶鋼を電磁攪拌する際に、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000\text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000\text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にする。

【0073】

本発明の実施に好適な、鋼の連続鋳造設備の一例を、水平断面の模式図で図19に示す。図において、10が鋳型、12が浸漬ノズル、20が振動磁界発生装置、22が櫛歯状鉄芯、24がコイル、26a、26bが交流電源、28が磁極、30が静磁界発生装置である。

【0074】

本発明では、相対する長辺と短辺からなる鋳型10内の溶鋼に、磁界を印加しながら連続鋳造する。印加する磁界は、鋳型の長辺方向に振動する磁界（以下、振動磁界ともいう）と厚み方向の静磁界とする。印加する振動磁界は、鋳型の長辺方向を印加方向とする交流磁界で、その向きを周期的に反転させ、溶鋼のマクロ的流動を誘起することのない磁界である。

【0075】

振動磁界は、例えば、図19に示すような振動磁界発生装置20を使用して、発生させることができる。図19に示す振動磁界発生装置20では、鋳型の長辺方向に3個以上（図では12個）の櫛歯を有する櫛歯状鉄芯22を用いて、これら櫛歯にコイル24を配設して磁極28とする。磁極28は、隣接する磁極同士が互いに異なる極性（N、S極）を有するように、コイルの巻き方及びコイルに流す交流電流を調整する。隣接する磁極同士が互いに異なる極性（N、S極）とするためには、隣接する磁極同士のコイルの巻き方を反対方向としコイルに流す電流を同位相で所定の周波数を有する交流電流とするか、あるいは隣接する磁極同士のコイルの巻き方を同方向としコイルに流す電流を隣接する磁極同士で位相がずれた、所定の周波数を有する交流電流とするのが好ましい。隣接する磁極に流す交流の位相のずれは、実質的に位相が反転する、 130° 以上 230° 以下とするのが好ましい。

【0076】

なお、交流電流の所定の周波数としては、 $1\sim 8\text{ Hz}$ とするのが好ましく、より好ましくは $3\sim 6\text{ Hz}$ である。図19に示す例は、隣接する磁極で、コイルの巻き方を同方向としてコイルに流す交流電流を位相が異なる（実質的に位相が反転する）ものとする場合であるが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0077】

本発明では、隣接する磁極同士が互いに異なる極性を有するため、隣接する磁極間で溶鋼に作用する電磁力とその隣りの磁極間で溶鋼に作用する電磁力とは、その向きがほぼ反対となり、溶鋼のマクロな流動が誘起されることはない。又、本発明では、コイルに流す電流を交流電流とするため、各磁極の極性が所定の周期で反転し、鋳型の長辺幅方向で凝固界面近傍の溶鋼に振動を誘起させることができる。これにより、凝固界面への介在物、気泡の捕捉を抑制することができ、鋳片の表面品質を顕著に向上させることができる。

【0078】

コイルに流す交流電流の周波数が 1 Hz 未満では、低すぎて十分な流動が誘起されない。一方、 8 Hz を超えると、溶鋼が振動磁界に追従しなくなり、磁界印

加の効果が少なくなる。このため、コイルに流す交流電流の周波数を $1 \sim 8 \text{ Hz}$ とし、振動磁界の振動周期を $1/8 \sim 1 \text{ s}$ とするのが好ましい。

【0079】

なお、本発明では、印加する振動磁界の磁束密度は 1000 ガウス未満とするのが好ましい。磁束密度が 1000 以上になると、デンドライトを破断するだけでなく、湯面変動が大きくなり、モールドフラックスの巻き込みを助長するという問題がある。

【0080】

又、本発明では、上記した振動磁界の印加に加えて、静磁界を印加する。静磁界は、図19に示すように、鋳型10の長辺側に静磁界発生装置30を設置し、鋳型の短辺方向（鋳型の厚さ方向）の向きに印加する。

【0081】

鋳型の厚さ方向に静磁界を印加することにより、鋳型中央部付近の溶鋼流速を減少させることができ、モールドフラックスの巻き込みを防止できる。なお、振動磁界の印加に静磁界の印加を、重畳させることにより、 $F = J \times B$ における B 項を大きくできるため、更にローレンツ力を増加させることができるという効果もある。

【0082】

又、本発明では、印加する静磁界の磁束密度は 200 ガウス以上 3000 ガウス以下とするのが好ましい。磁束密度が 200 ガウス未満では溶鋼流速の低減効果が少なく、また 3000 ガウスを超えると制動が大きすぎて不均一凝固を引き起こすという問題がある。

【0083】

図19は、鋳型10の長辺側に、振動磁界発生装置20と、静磁界発生装置30とを配設した例を示す。静磁界発生装置30は、鋳型の長辺側に鋳型を挟んで一対の磁極を配し、流す電流を直流電流として直流電源32からコイル34に流し、鋳型の厚さ方向に静磁界を印加する。静磁界発生装置30と振動磁界発生装置20の設置位置は、垂直方向で同じ位置としても、又、異ならせてもいずれでもよい。

【0084】

次に、移動磁界の場合と、振動磁界のピーク位置を鋳型長辺方向に沿って局所的に移動させる場合を詳細に説明する。

【0085】

前記図14は鋼の連続鋳造用鋳型10の平面図及び交流電磁石（コイル）24、直流電磁石（コイル）34の配列例を示したものである。

【0086】

鋳型10には、上方のタンディッシュの底部に連結されている連続鋳造用浸漬ノズル12が浸漬され、溶鋼14を供給する。連続鋳造用鋳型10の長辺に沿って、前記図19と同様に、12枚の櫛歯状の交流電磁石（コイル）24が配設され、その外側に直流コイル34が配設されている。12個のコイル24にはそれぞれ振動磁界を発生する振動電流が供給され、その振動電流のピーク値は、鋳型長辺幅方向に沿って移動するように印加される。このピーク値の移動は、隣り合うコイルの位相が n 、 $2n$ 、 n 又は n 、 $3n$ 、 $2n$ の配列部分をもつように印加することにより実現される。

【0087】

図15～図18は、ある瞬間におけるコイル24a、24bをそれぞれ構成する12個の各コイルにおける振動磁界の位相の分布を数字（位相角の値）で記載して示したものである。振動磁界のピーク位置は鋳型10の長辺に沿う方向に順次移動する。

【0088】

図15には隣接コイルの位相差が 90° で、対向するコイル24a、24bで 180° 異なる2相交流の移動磁界が示されている。図16には隣接コイルの位相差が 180° で、対向するコイル24a、24bで同位相の2相交流の振動磁界が印加されている。図17には隣接コイルの位相差が 90° で、対向するコイル24a、24bで 180° 異なる半波整流2相交流が印加されている。図18には隣接コイルとの位相差が 120° 、対向するコイルで 60° 異なる半波整流3相交流が印加されている。

【0089】

ここで、図20には、図15の移動磁界について、電流の位相角の経時的な変化を交流コイル24aの各コイルに対応させて示す。最上段T1の位相角は図15と同じであり、下方に向かって時間が経過している。又、図21、図22には、それぞれ図17、図18の振動磁界のピーク位置の局所移動について同様の経時変化を示す。

【0090】

以上のようにして振動磁界のピーク位置を局所的に移動させることによって、凝固界面のみを効率的に振動させて、気泡・介在物の捕捉を抑制できるので、鋳片の表面品質を大幅に向上させることができる。

【0091】

(実施例)

次に、実施例に基づき、本発明について、更に詳細に説明する。

【0092】

約300トンの溶鋼を転炉で溶製し、RH処理によって極低炭素鋼のA1キルド鋼とし、連続鋳造機でスラブを鋳造した。代表的な溶鋼成分を表1に示す。

【0093】

【表1】

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0.0015	0.02	0.08	0.015	0.004	0.04	0.04

【0094】

なお、スラブの幅は1500～1700mm、厚みは220mm、溶鋼のスループット量は4～5トン/分の範囲とした。

【0095】

又、コイル構造として、前記図6、図14等にした如く、幅方向に12等分した櫛歯状の鉄芯を用い、幅方向に位相が変化する磁場を発生するように配置した。

【0096】

以上の方法でスラブを連続鋳造することにより得られた、本発明（第1の発明

）の根拠となった、欠陥混入率、ブローホール、ノロカミの検査結果を図 23、図 24、図 25 に示す。図中、「振動ピーク位置局所移動」は図 17、図 18 に、「振動磁界」は図 6、図 16 に、それぞれ特徴を示したコイル 24 により、鋳型内溶鋼に磁界を印加した場合に当る。

【0097】

ここで、図中の欠陥混入率は、冷延後の製品コイル全長を分母に、気泡、介在物起因の表面欠陥 1 つを 1 m とみなして分子とし、その比率を % で表わす値である。また、ブローホールおよびノロカミは、鋳造、切断後の鋳片の表面を約 2 m m 溶削した後鋳片表面に現れた穴を、内部が空洞の場合にブローホール、モールドフラックスが充鎮されていた痕跡がある場合にノロカミとしてそれぞれ計数し、その数値を調査鋳片表面積で除した値である。

【0098】

図 23 ～ 図 25 は、いずれも横軸が凝固界面に働くローレンツ力の最大値 F_{max} である。

【0099】

図 26 に交流コイル 24 と、モールド鋼板で示す鋳型 10 の内壁に付着した溶鋼の凝固界面との関係を模式的に示すように、コイル 24 に流れる電流が変化すると、凝固界面の溶鋼にローレンツ力 F が作用する。

【0100】

このローレンツ力 F は、図 6、図 19 に示したような振動磁界に直流磁界を重畳する場合であると、前記 (2)、(3) 式で与えられ、 B_{dc} は時間平均した力には影響しないが、時間変動する力は B が大きくなる分だけ大きくなる。このローレンツ力 F の変化を、電流変化を位相で表わして、横軸が鋳型 10 の幅に相当する図 27 に示すように、各コイル毎に周期的に変動する。

【0101】

上記振動磁界の場合、ローレンツ力の最大値（ピーク） F_{max} (N/m^3) と、その時間平均値 F_{ave} (N/m^3) は、数値計算結果を回帰して得られた次式で与えられる。

(振動)

$$F_{\max} = 1.57 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 1.20 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{ave} = 0$$

【0102】

図15の移動磁界、図17又は図18の振動移動（振動磁界のピーク位置の局所的移動）の場合も、同様に下式で与えられる。

（移動）

$$F_{\max} = 2.28 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 4.17 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{ave} = 1.76 \times 10^6 B_{ac}^2$$

（振動移動）

$$F_{\max} = 1.86 \times 10^6 B_{ac} \cdot B_{dc} + 2.31 \times 10^6 B_{ac}^2$$

$$F_{ave} = 6.36 \times 10^5 B_{ac}^2$$

【0103】

前記図23～図25の各データは、実際に連続鋳造した際に上記各式により計算されたローレンツ力の最大値 F_{\max} と各検査結果とを対応させて示したものである。

【0104】

図23から、欠陥混入率は、 F_{\max} が $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下が有効であることが分かる。図24、図25でも、 F_{\max} が $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上が有効であることが分かる。

【0105】

なお、参考のために、図28～図30に F_{ave} と関係を示したように、この F_{ave} は連続鋳造する際の指標には適切ではないが、 F_{\max} が指標として有効であることが分かる。

【0106】

次に、本発明の第2実施形態を詳細に説明する。

【0107】

この第2実施形態においては、鋳型内の溶鋼流速を $V \text{ (m/s)}$ 、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $F_{\max} \text{ (N/m}^3\text{)}$ とするとき、 $V \times F_{\max}$ が $3000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以上、 $6000 \text{ (N/(s} \cdot \text{m}^2\text{))}$ 以下になるよう

にする。

【0108】

なお、流速は実測値であるが、測定が困難な場合には発明者が実験によって得た回帰式

$$V[\text{m/sec}] = (43.0 - 0.047 L_{\text{SEN}} + 0.093 \theta + 10.0 Q + 0.791 q_{\text{Ar}} - 0.0398 W) / 100$$

で代用してもよい。但し、 L_{SEN} : ノズル浸漬深さ[mm]、 Q : 溶鋼注入速度[t/min]、 θ : 浸漬ノズル溶鋼吐出角度[°]、 q_{Ar} : ノズル吹き込みガス流量[l/min]、 W : 鋳型幅[mm]である。

【0109】

第1実施形態の実施例の場合と同様に連続鋳造した結果に基づいて、欠陥混入率と磁界による溶鋼の流速の関係を図31に示す。又、欠陥混入率とローレンツ力の最大値 F_{max} との関係は、前記図23に示してある。又、これらの結果を、更に詳細に検討した結果、図32に示すように、溶鋼流速 V と F_{max} に関して、 $V \times F_{\text{max}}$ が3000以上であるようにすることが、欠陥混入率を低減する上で有効であることが明らかになった。又、6000を超えても効果が変わらないことも分った。

【0110】

なお、前記説明においては、極数が12極の櫛歯状の鉄芯が用いられていたが、磁極数や鉄芯の形状はこれに限定されず、例えば鉄芯が分割されていてもかまわない。又、静磁界を重畳する場合に限定されず、例えば図19から直流コイル34を除いた設備を使用するようにしてもよい。

【0111】

【発明の効果】

本発明によれば、捕捉される気泡、非金属介在物及び鋳片表面偏析、モールドフラックス起因の表面欠陥や内部介在物起因の内部欠陥の少ない鋳片を鋳造でき、高品質の金属製品の製造が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明で用いられる電磁石と鋳型の組合せの一例を模式的に示す水平断面図

【図 2】

図 1 における電磁攪拌の原理を説明するための、磁場で誘起される溶湯流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図

【図 3】

図 2 の III－III 線に沿う水平断面図

【図 4】

図 2 の IV－IV 線に沿う垂直断面図

【図 5】

振動磁界を発生させる際の印加電流と溶鋼流速の時間的な変化状態の例を示す線図

【図 6】

本発明で用いられる電磁石と鋳型の組合せの他の一例を模式的に示す水平断面図

【図 7】

図 6 における電磁攪拌の原理を説明するための、磁場で誘起される、ある時点の溶湯流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図

【図 8】

図 7 の III－III 線に沿う水平断面図

【図 9】

図 7 の IV－IV 線に沿う垂直断面図

【図 1 0】

図 6 における電磁攪拌の原理を説明するための、磁場で誘起される、磁極が反転した次の時点の溶湯流動の速度ベクトルの電磁場解析と流動解析による計算結果を模式的に示す正面図

【図 1 1】

図 1 0 の VI－VI 線に沿う水平断面図

【図 1 2】

図 1 0 の VII - VII 線に沿う垂直断面図

【図 1 3】

振動磁界を発生させる際の印加電流と溶鋼流速の時間的な変化状態を示す線図

【図 1 4】

本発明で用いられるコイルと鑄型の関係を示した平面模式図

【図 1 5】

移動磁界の場合のコイルの位相を示した模式図

【図 1 6】

振動磁界の場合のコイルの位相を示した模式図

【図 1 7】

振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる場合のコイルの位相を示した模式図

【図 1 8】

振動磁界のピーク位置を局所的に移動させる場合のコイルの位相を示した他の模式図

【図 1 9】

実施形態に用いられる一つの連続鑄造設備を模式的に示す水平断面図

【図 2 0】

移動磁界を発生させる電流の位相の経時変化を示す説明図

【図 2 1】

振動磁界のピーク位置を局所移動させる電流の位相の経時変化を示す説明図

【図 2 2】

振動磁界のピーク位置を局所移動させる電流の位相の経時変化を示す他の説明図

【図 2 3】

ローレンツ力の最大値 F_{\max} と欠陥混入率の関係を示すグラフ

【図 2 4】

ローレンツ力の最大値 F_{\max} とブローホール個数密度の関係を示すグラフ

【図 2 5】

ローレンツ力の最大値 F_{\max} とノロカミ個数密度の関係を示すグラフ

【図 2 6】

凝固界面に作用するローレンツ力を示す模式的な斜視図

【図 2 7】

ローレンツ力と電流の関係を示す線図

【図 2 8】

ローレンツ力の平均値 F_{ave} と欠陥混入率の関係を示すグラフ

【図 2 9】

ローレンツ力の平均値 F_{ave} とブローホール個数密度の関係を示すグラフ

【図 3 0】

ローレンツ力の平均値 F_{ave} とノロカミ個数密度の関係を示すグラフ

【図 3 1】

溶鋼流速 V と欠陥混入率の関係を示すグラフ

【図 3 2】

$V \times F_{\max}$ と欠陥混入率の関係を示すグラフ

【符号の説明】

1 0 … 鋳型

1 2 … 浸漬ノズル

2 0 … 振動磁界発生装置

2 2 … 櫛歯状鉄芯

2 4 … コイル

2 6 a、2 6 b … 交流電源

2 8 … 磁極

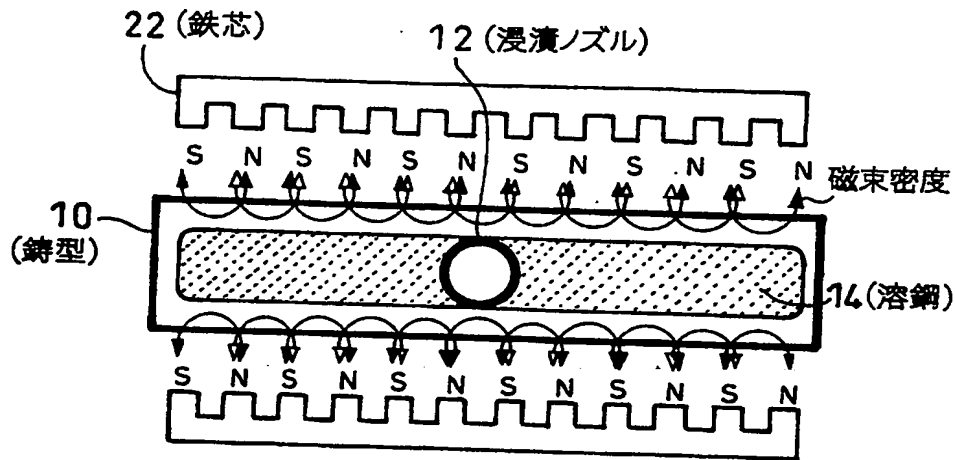
3 0 … 静磁界発生装置

3 2 … 直流電流

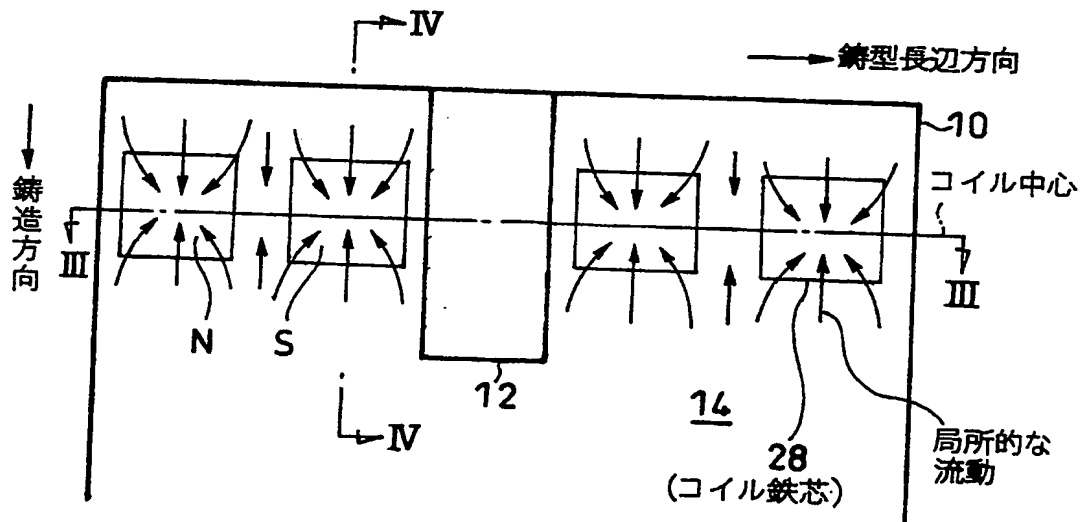
3 4 … 直流コイル

【書類名】 図面

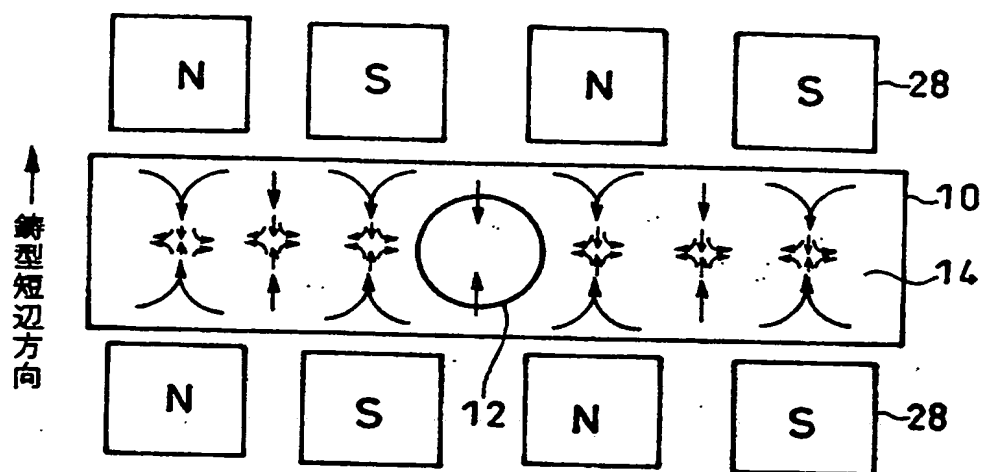
【図 1】



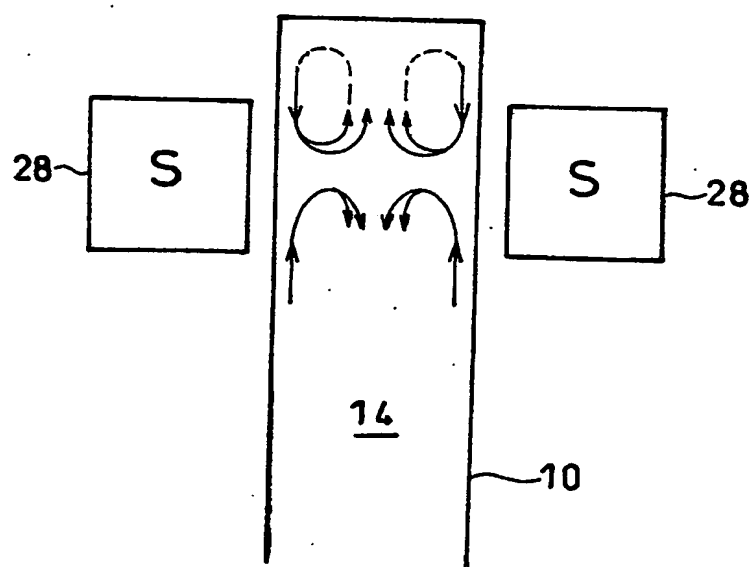
【図 2】



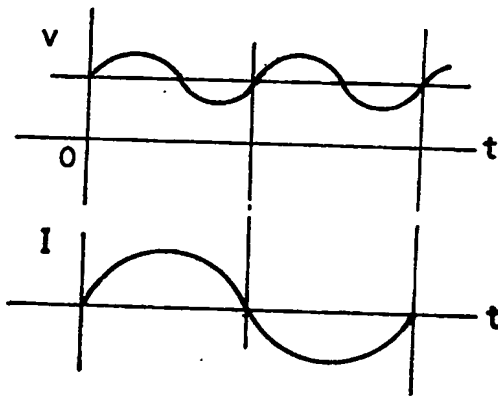
【図 3】



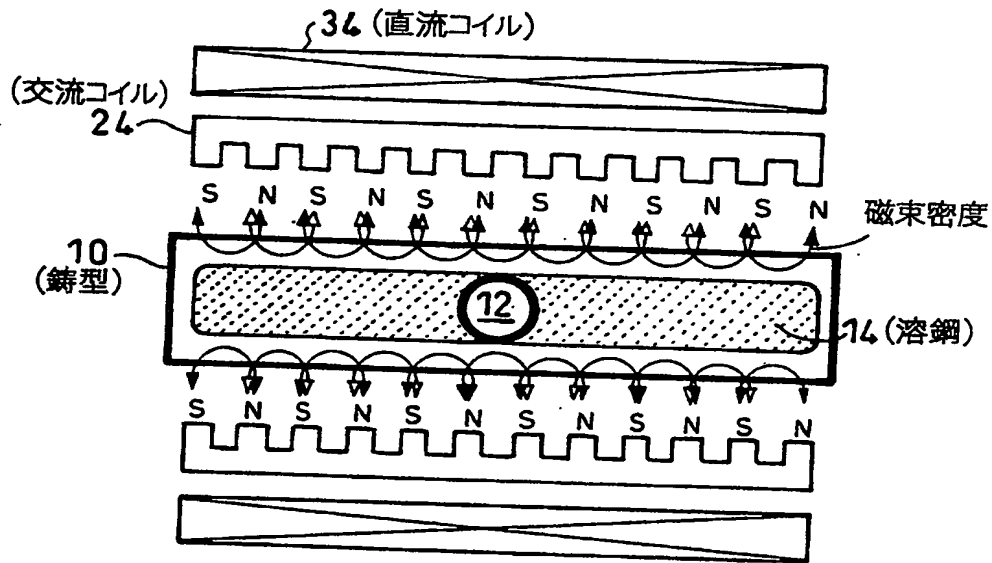
【図 4】



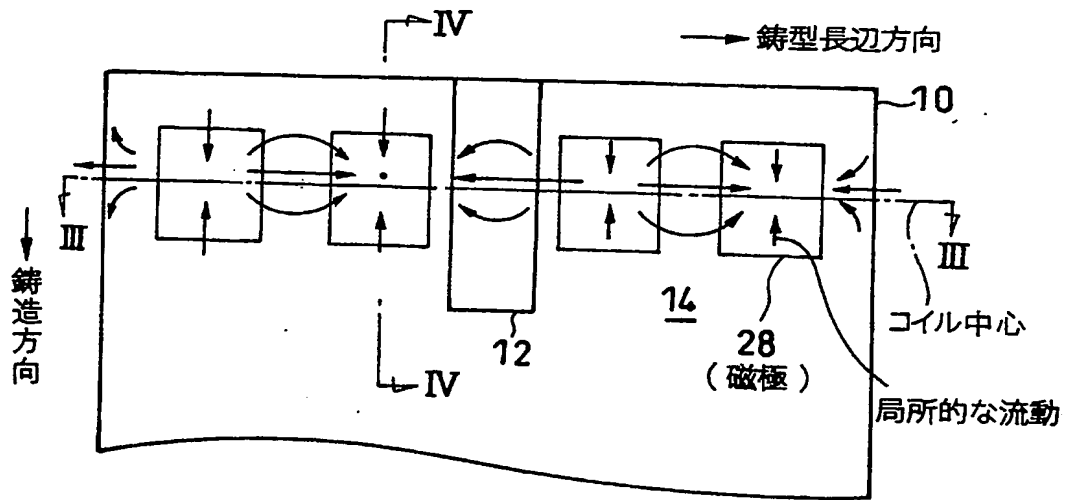
【図 5】



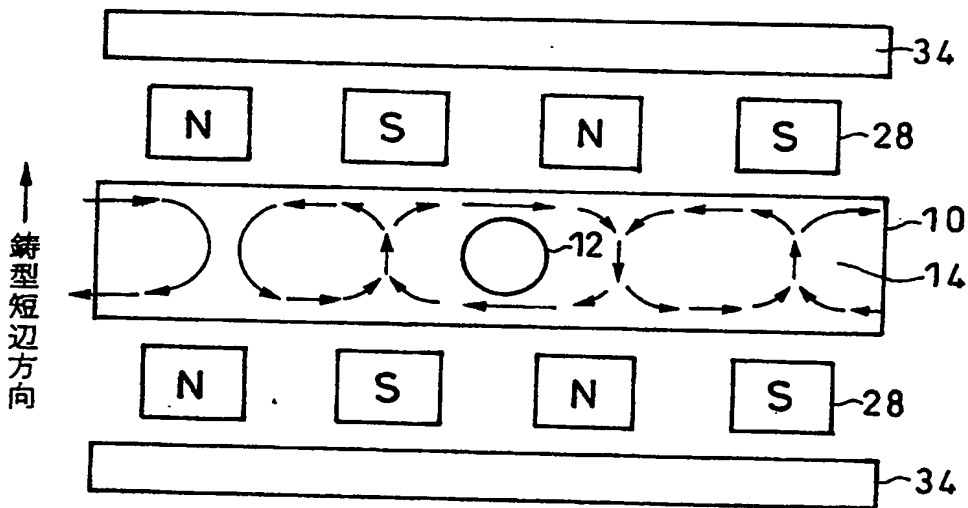
【図 6】



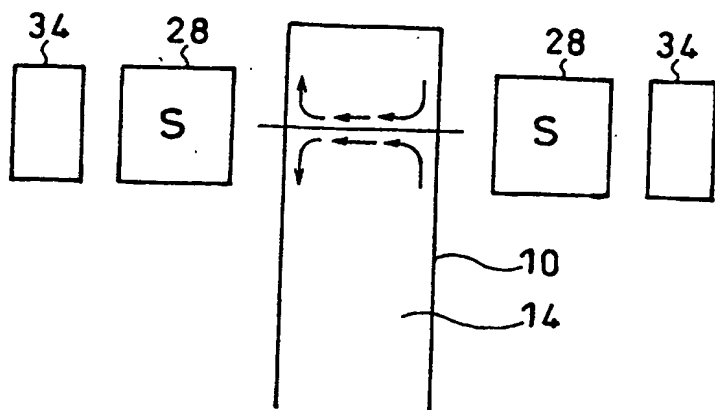
【図 7】



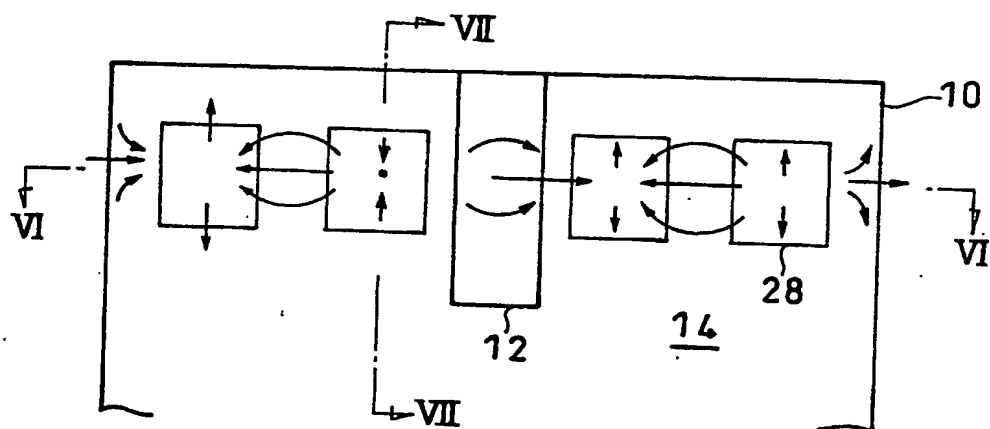
【図 8】



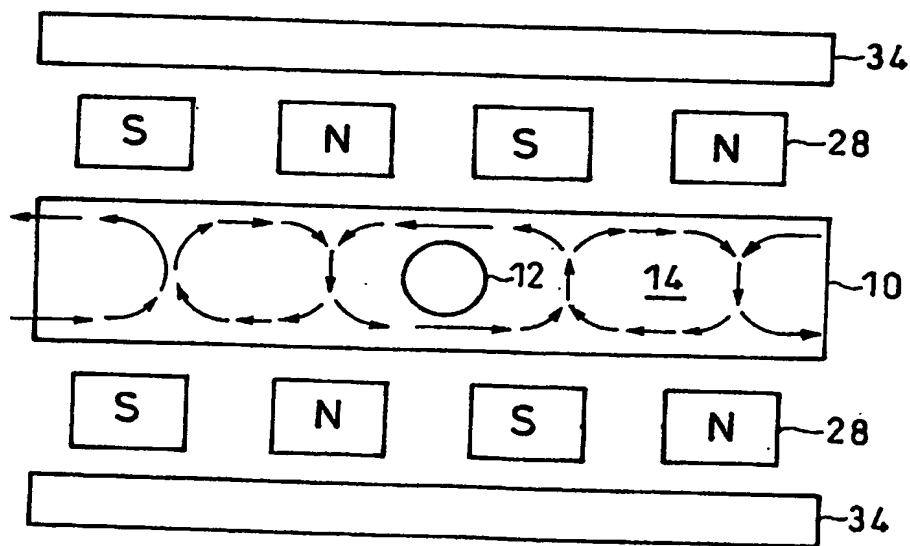
【図 9】



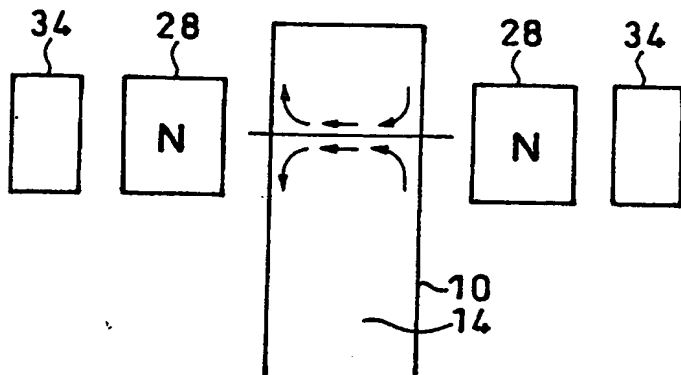
【図 10】



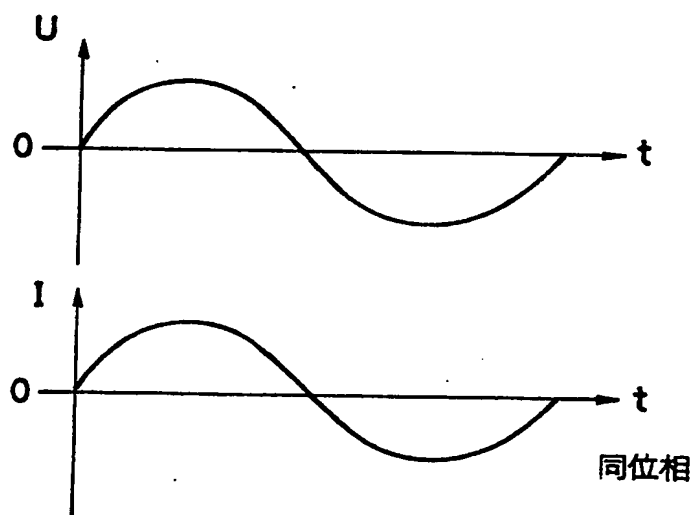
【図 11】



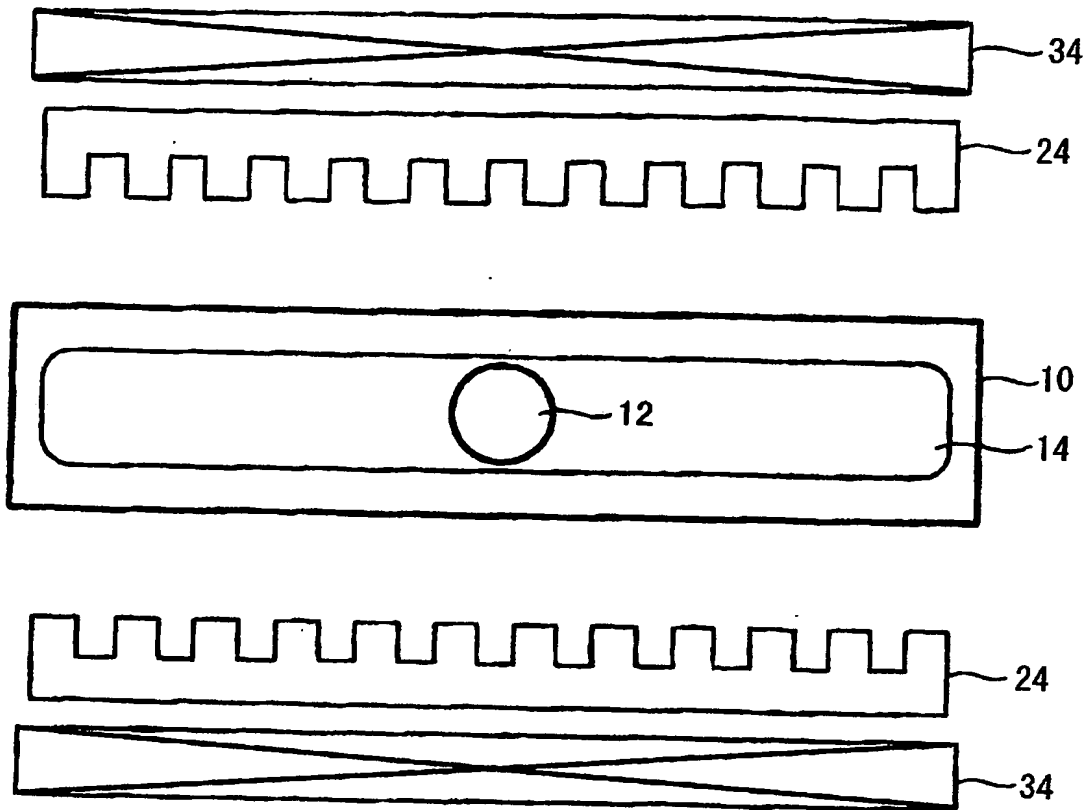
【図 12】



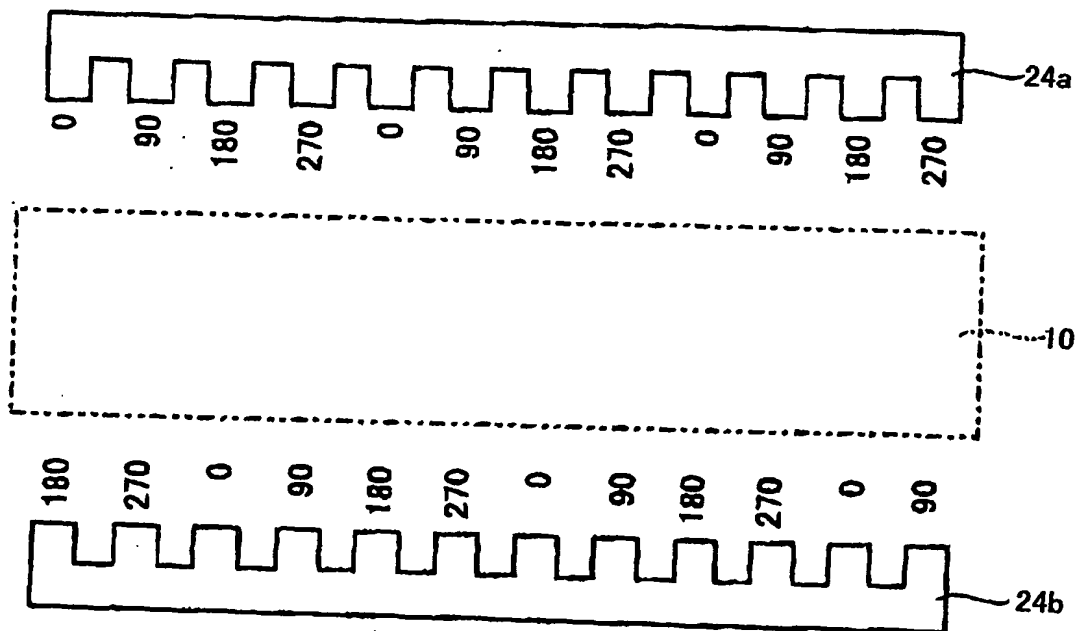
【図 13】



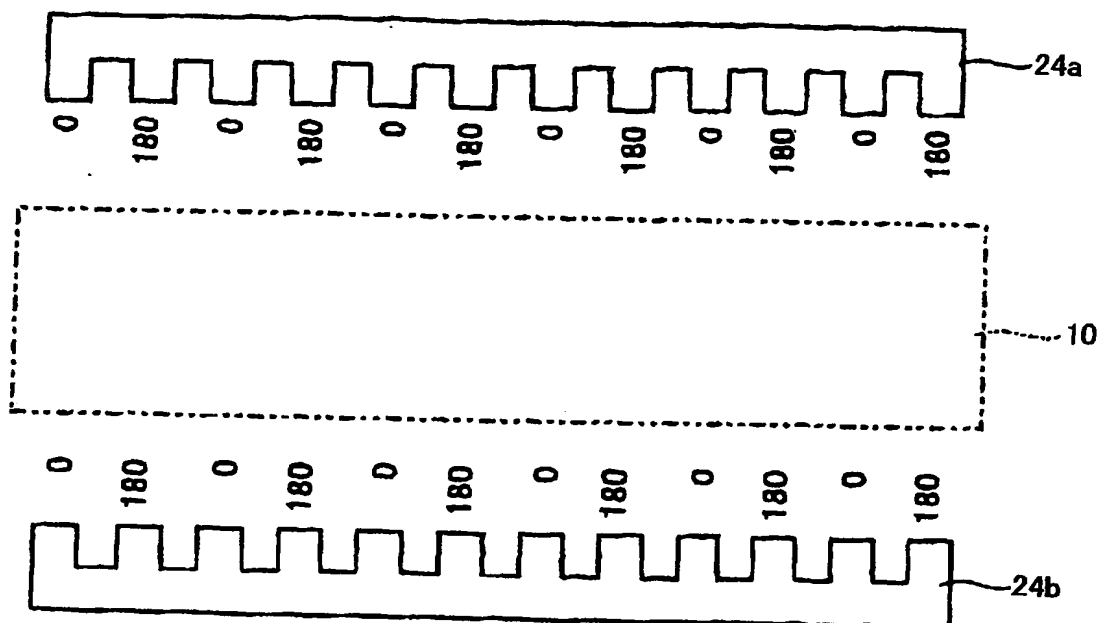
【図 14】



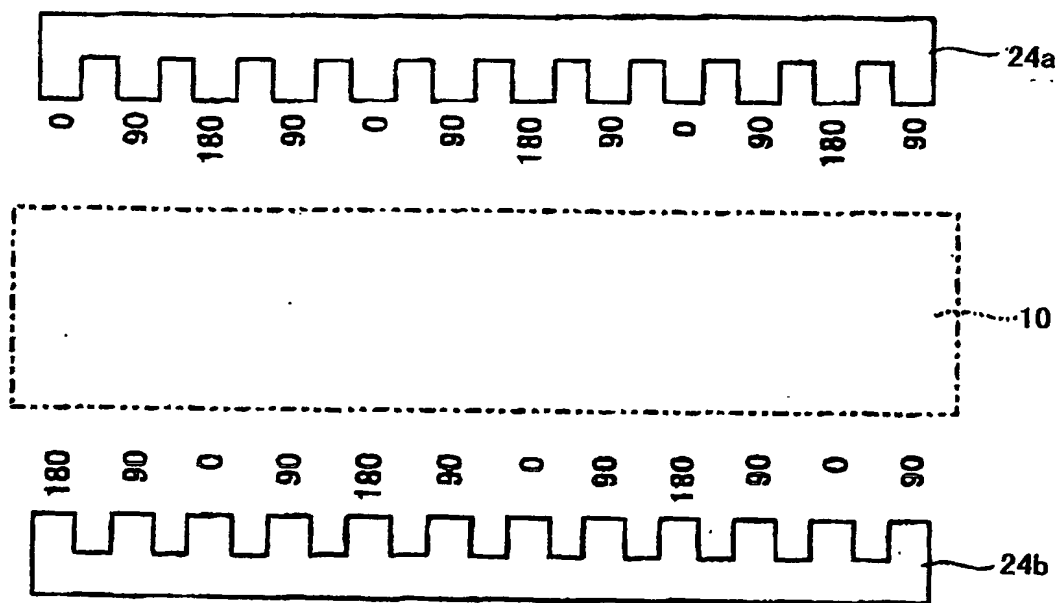
【図 15】



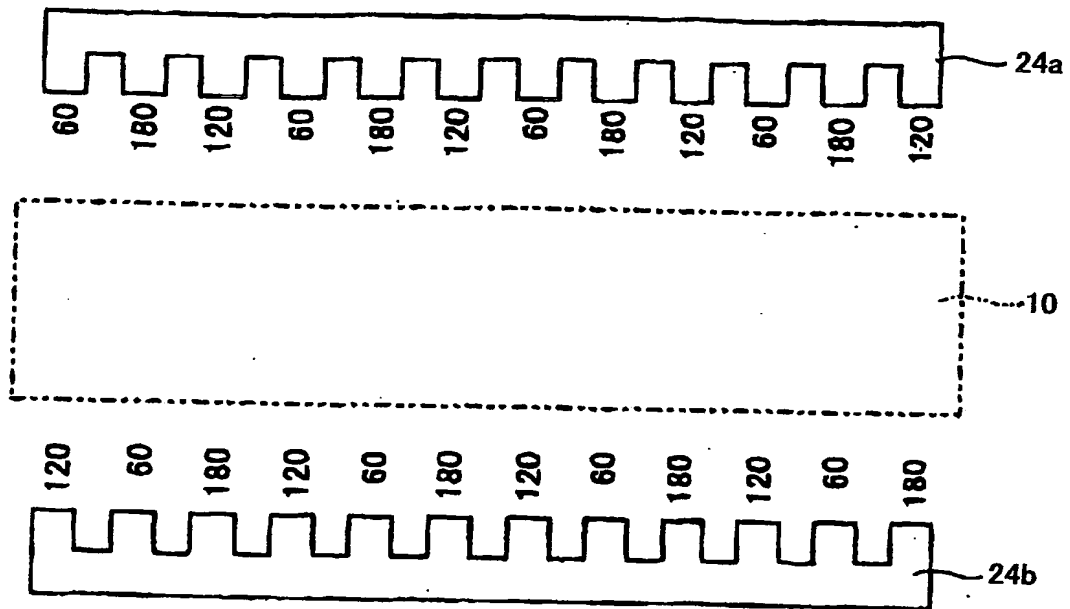
【図 16】



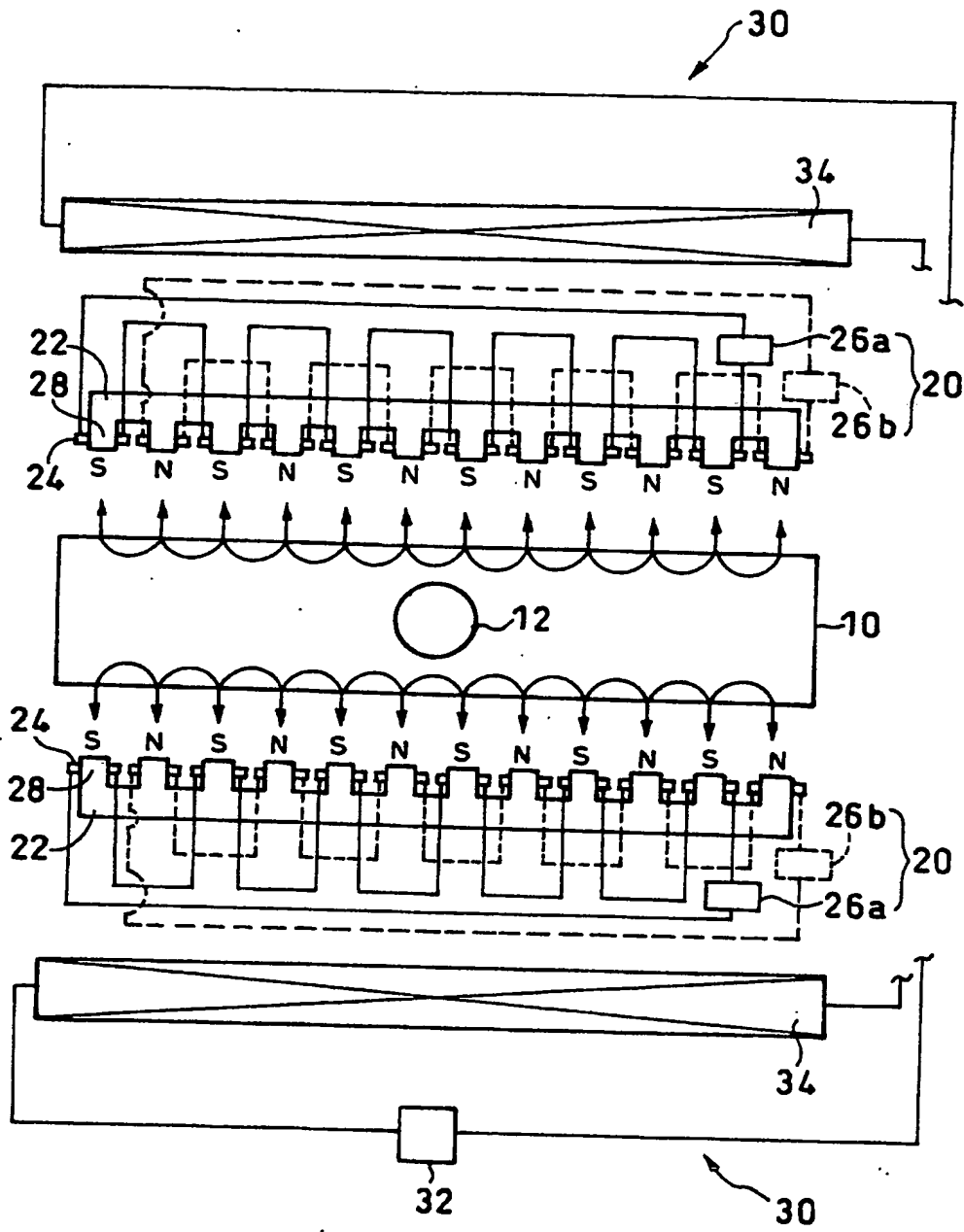
【図 17】



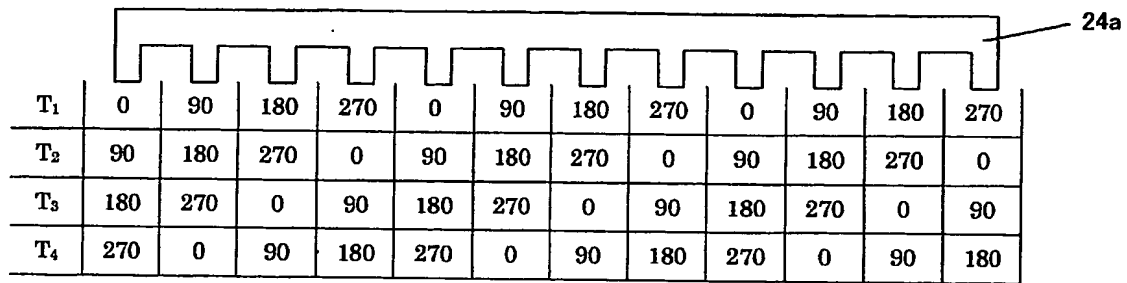
【図 18】



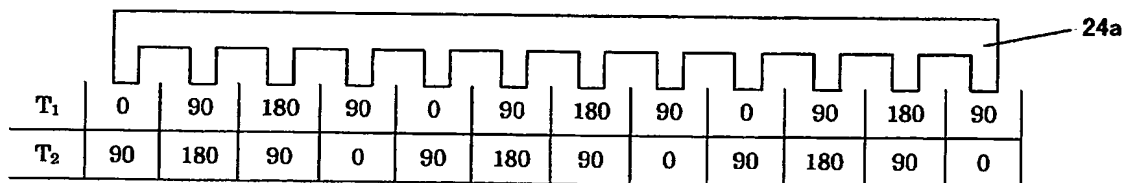
【図19】



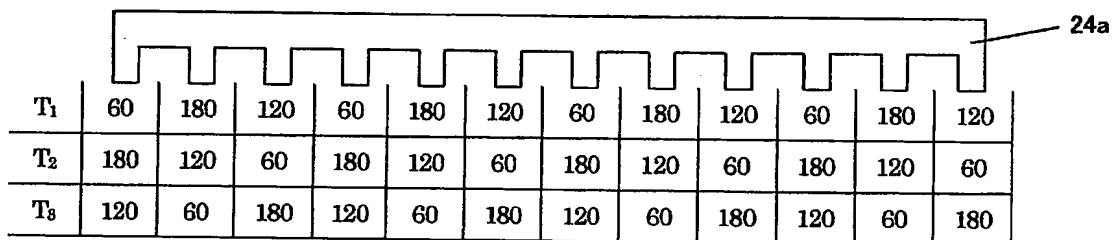
【図 20】



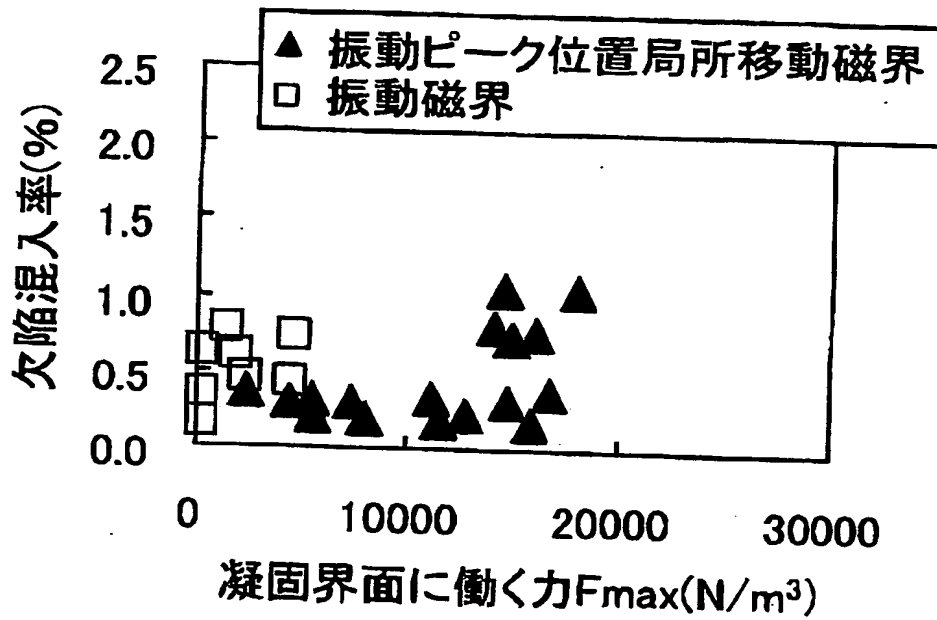
【図 21】



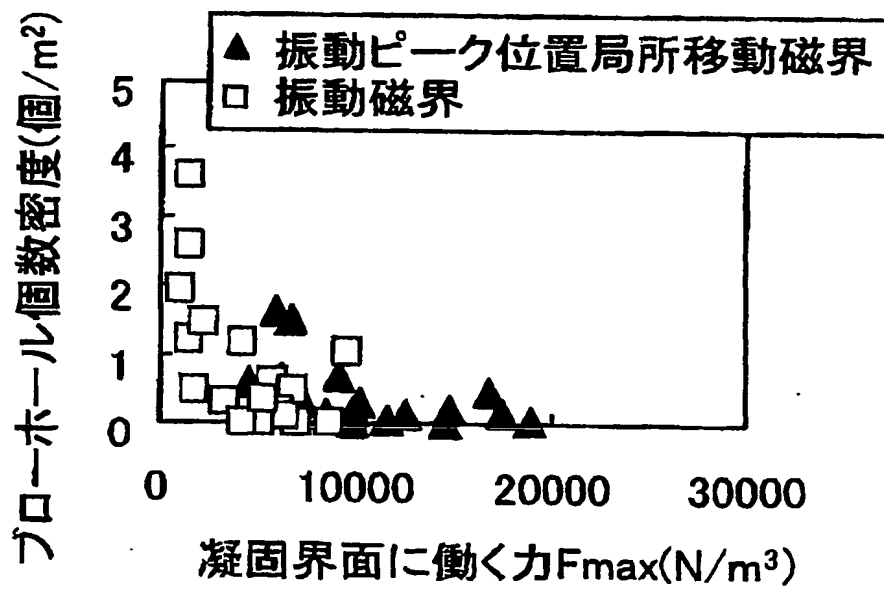
【図 22】



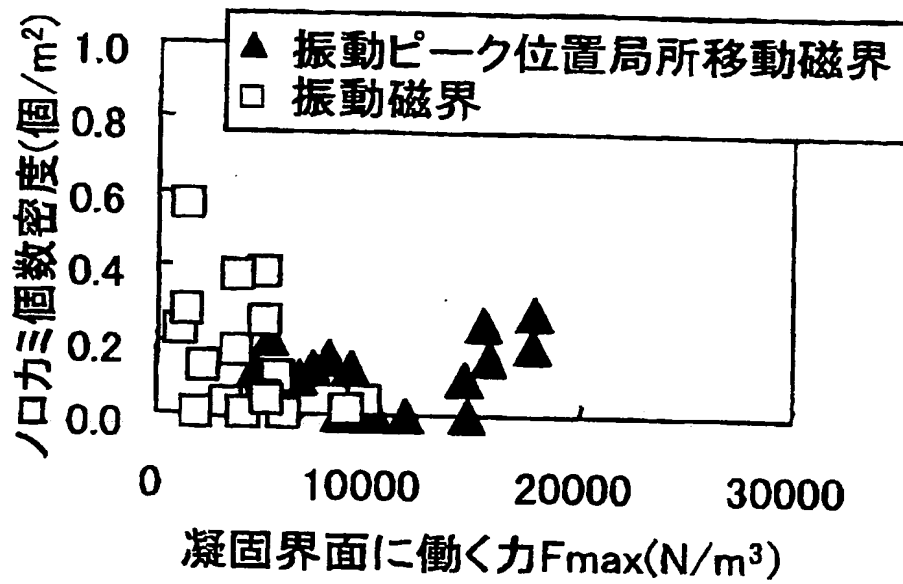
【図 2 3】



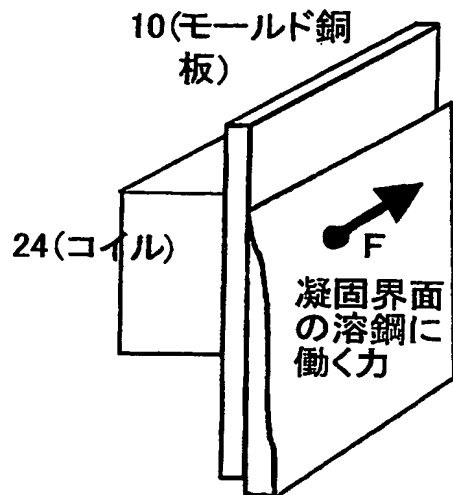
【図 2 4】



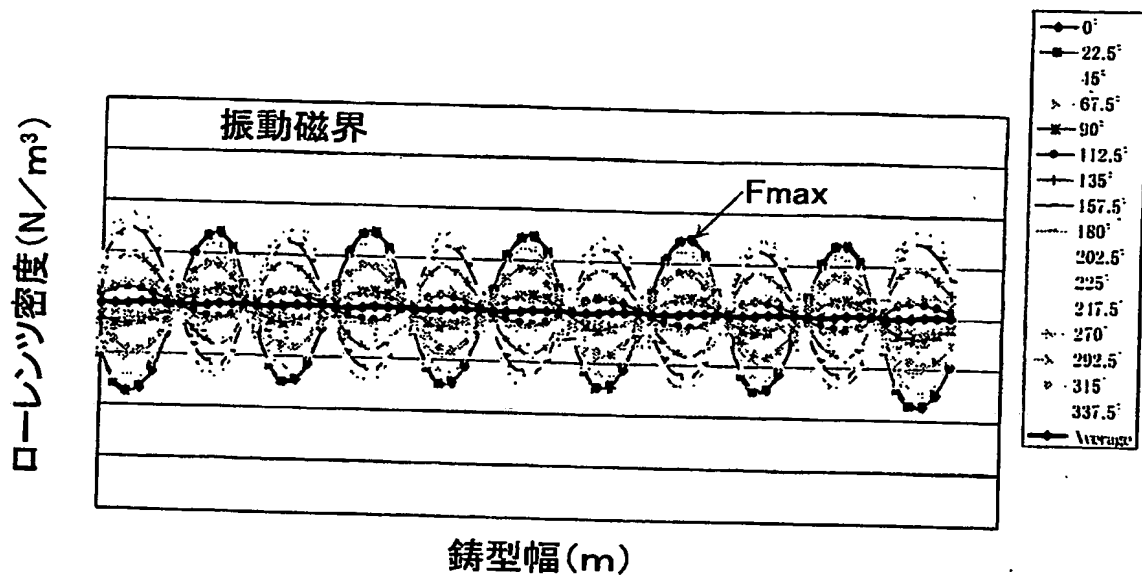
【図 25】



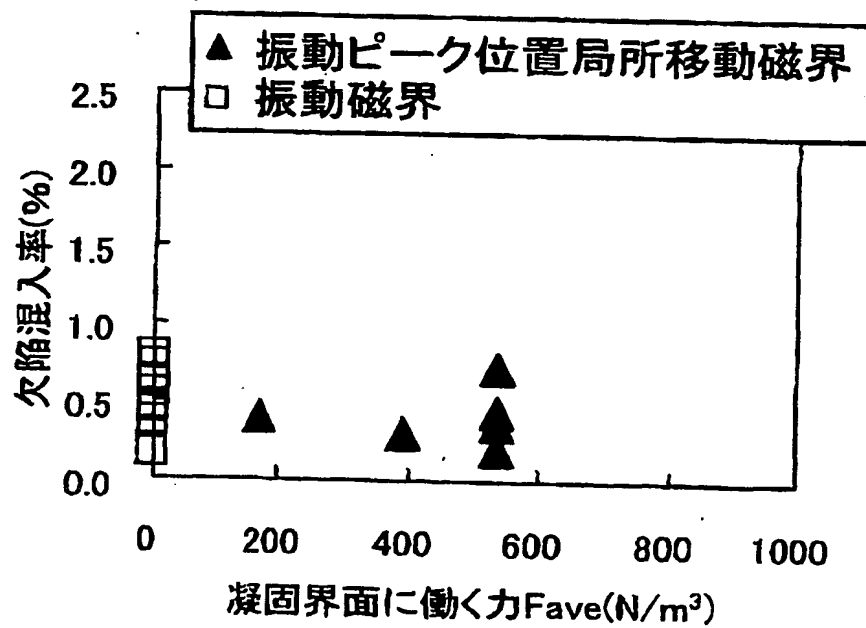
【図 26】



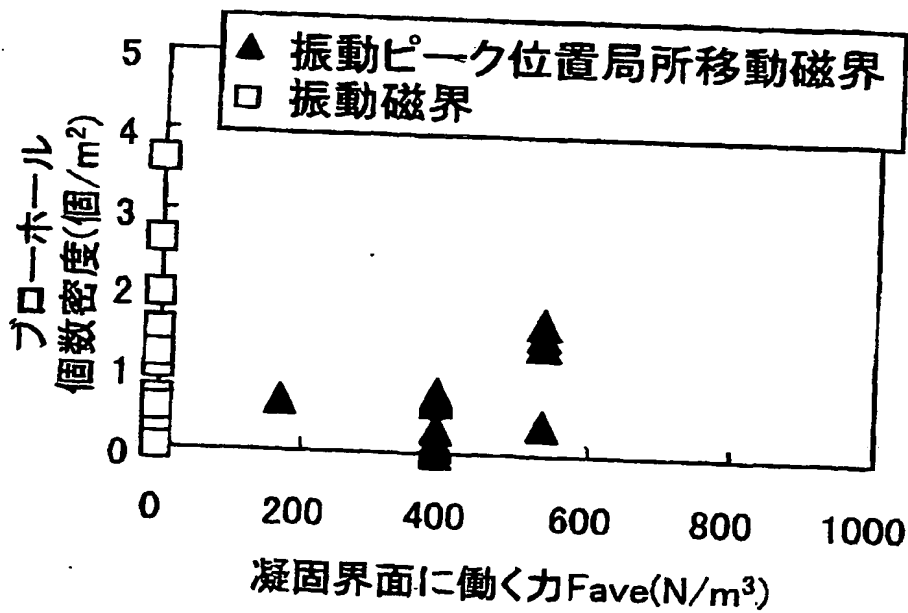
【図 27】



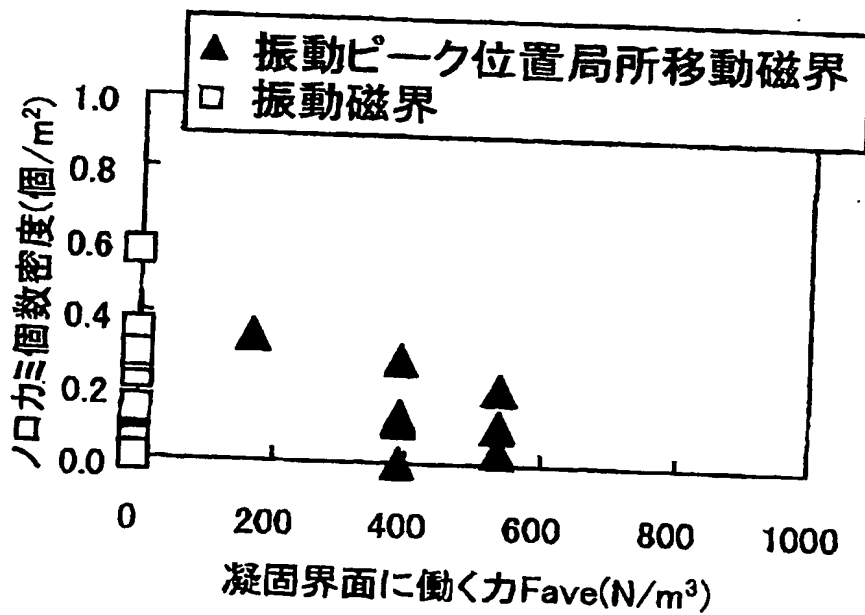
【図 28】



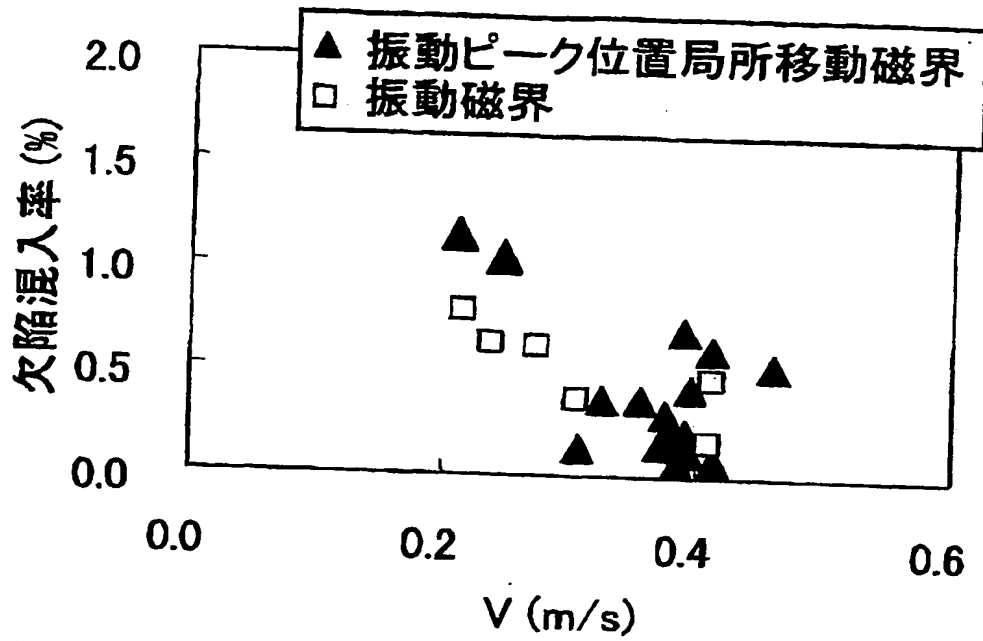
【図 29】



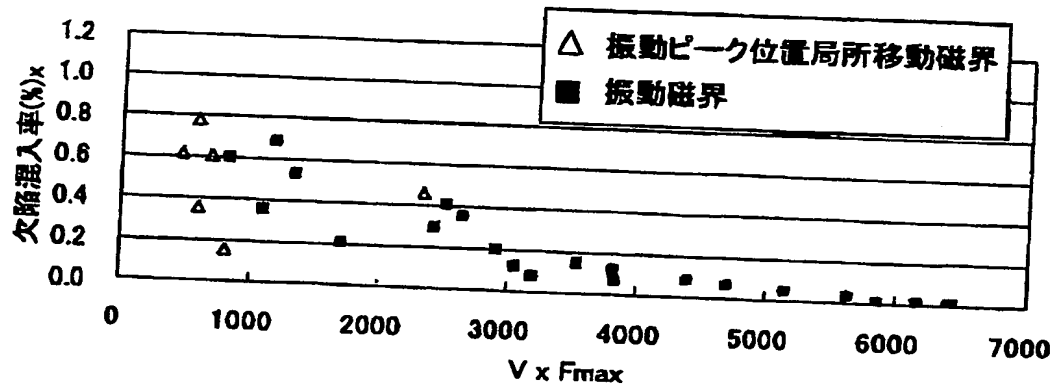
【図 30】



【図 3 1】



【図 3 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 鋳型へ溶鋼を供給するノズルから不活性ガスを吹き込まずに連続鋳造する際、表面欠陥や内部介在物の少ない鋳片を鋳造して、高品質の金属製品の製造を可能とする。

【解決手段】 鋳型 1 0 の長辺方向に、3 個以上の電磁石 (2 8) を配置し、隣り同士のコイル 2 4 で発生する磁場を実質反転させることで、溶鋼に位相が実質反転する振動電磁界を作用させ、且つ、直流コイル 3 4 により鋳型厚み方向に静磁界を重畳して、局所的な流動を励起させながら連続鋳造する際、磁場によって駆動されるローレンツ力の最大値を $5000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以上、 $13000 \text{ (N/m}^3\text{)}$ 以下にする。

【選択図】 図 6

特願 2003-117340

ページ: 1/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000001258]

1. 変更年月日
[変更理由]

2003年 4月 1日

名称変更

住所変更

住 所
氏 名

東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
J F E スチール株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.